

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(3)
12 Patentschrift
10 DE 196 43 561 C 1

21 Aktenzeichen: 196 43 561.7-32
22 Anmeldetag: 22. 10. 96
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 15. 1. 98

51 Int. Cl.⁶:
H 02 K 3/18
H 02 K 3/52
H 02 K 1/08
H 02 K 15/095

DE 196 43 561 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Hill, Wolfgang, 76135 Karlsruhe, DE

72 Erfinder:
gleich Patentinhaber

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 33 28 403 C2
DE-AS 10 33 769
DE-AS 10 16 363
DE 44 36 257 A1
DE 44 25 367 A1
DE 42 13 377 A1
DE 40 04 019 A1
DE-OS 16 38 241
FR 14 77 471

54 Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung

57 Elektrische Maschinen mit radialem Luftspaltfeld, insbesondere EC-Außenläufer mit kleiner Leistung, weisen vorteilhaft einzeln bewickelte Pole auf. Der trapezförmige Nutquerschnitt und kleine Nutöffnungen zum Luftspalt erschweren die Realisierung einer kompakten Wicklung. Erfindungsgemäß wird der Einzelpole ausbildende Körper der elektrischen Maschine aus weichmagnetischen Segmenten zusammengesetzt, wobei die vorzugsweise aus in axiale Richtung geschichteten Blechen bestehenden Segmente an den die Nutwand bildenden Rändern Vertiefungen aufweisen, die eine exakte Führung des Leiterdrahtes beim Wickeln der Einzelpole ermöglicht. Die Polschuhe decken am Luftspalt nahezu den gesamten Umfang ab und am gegenüberliegenden Ende bilden benachbarte Polsegmente vorzugsweise Aussparungen, in die nach der Montage Haltestifte axial eingeführt werden und eine radiale Fixierung gewährleisten. In mehrphasigen Maschinen wechseln sich in Richtung der Nutbreite bewickelte T-Segmente mit unbewickelten X-Segmenten ab, wobei die X-Segmente eine um einen der Phasenanzahl entsprechenden Bruchteil vergrößerte Polfläche aufweisen. Die Erfindung ermöglicht die Realisierung kostengünstiger, hocheffizienter Elektroantriebe.

DE 196 43 561 C 1

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und 5 sowie ein Verfahren zu deren Herstellung gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 10—12.

Elektrische Maschinen, insbesondere EC-Außenläufer mit kleiner Leistung, weisen vorteilhaft einzeln bewickelte Pole auf. Einzelpolwicklungen vermeiden Überschneidungen von Leitern unterschiedlicher Phasen und können so besonders kompakt gewickelt werden. Bei für eine gleichmäßige Flußdichte konstanter Breite des Polkernes weisen die Nuten in Radialflußmaschinen eine sich mit dem Radius ändernde Breite auf. Die Einzelpolwicklung muß daher getreppert realisiert werden, wodurch in der Nutmitte Hohlräume entstehen. Ein niedriger Nutfüllfaktor senkt die Effizienz der elektrischen Maschine.

In der DE-AS 10 33 769 wird ein Rotor für eine dynamoelektrische Maschine beschrieben, dessen Einzelpole durch schwalbenschwanzförmige Vorsprünge am Kern befestigt werden.

Aus der DE 42 13 377 A1 ist ein bürstenloser Gleichstrommotor mit Innenläufer bekannt in dem der Stator aus L-förmigen Segmenten zusammengesetzt wird, die in eine auf einen sternförmigen Kunststoffkörper gewickelte Wicklung eingesteckt werden. Steckverbindungen halten die Statorteile zusammen. Der aus Kunststoff gefertigte Spulenkörper vermindert den Nutfüllfaktor der konventionell gewickelten Spulen aus Runddraht.

In der DE 44 36 257 A1 wird ein Schenkelpolläufer einer dynamoelektrischen Maschine beschrieben, der durch Zusammenschieben und Verkeilen zweier klauenförmiger Hälften hergestellt wird. Durch das Fehlen jedes zweiten Pols in den Läuferhälften wird das direkte Bewickeln der in Schichtblechtechnik ausgeführten Erregerpole vereinfacht. Alle Pole sind symmetrisch über den Umfang verteilt und baugleich ausgeführt.

Weiterhin sind aus der DE 40 04 019 A1 Stapelspulen bekannt, die trotz der mit dem Radius abnehmenden Nutbreite einen hohen Nutfüllfaktor ermöglichen. Die Herstellung dieser Stapelspulen ist sehr aufwendig und für ihre Montage sind offene Nuten erforderlich, die wiederum Pulsationsverluste oder Kosten für die Herstellung und Montage von weichmagnetischen Nutkeilen verursachen.

Aus der DE-OS 16 38 241 A1 ist eine elektrische Maschine der eingangs genannten Art bekannt, deren Anker sich aus bewickelten Elektropolen zusammensetzt. Hierbei sind alle Polsegmente baugleich und weisen unterhalb des asymmetrischen Polschuhs eine konstante Zahnbreite auf, so daß auf eine Isolierhülse gewickelte Drahtspule auf die Polsegmente aufgeschoben werden kann.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung und ein Verfahren zu ihrer Herstellung derart weiter zu bilden, daß bei vorgegebener Baugröße die Verluste gesenkt werden und gleichzeitig eine einfache kostengünstige Herstellung ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1, 5, 10, 11 und 12 aufgeführten Merkmale der Erfindung gelöst.

Erfindungsgemäß wird der die Einzelpole ausbildende Körper aus weichmagnetischen Segmenten zusammengesetzt, wobei diese vorzugsweise aus in axialer Richtung geschichteten Blechen bestehenden Segmente

an den die Nutwand bildeten Oberflächen Vertiefungen aufweisen, die eine exakte Führung des Leiterdrahtes beim Wickeln der Polspulen ermöglicht.

Der erste Lösungsansatz besteht somit darin durch eine strukturierte Oberfläche des Polkerns eine definierte Lage der Windungen zu erreichen und dabei nur dünne Isolierschichten zwischen den Leitern und dem Polkern zu realisieren. Hierdurch wird eine gute Wärmeableitung der Wicklungsverluste in den Polkern und ein hoher Nutfüllfaktor erreicht.

Zusätzlich können die in definierten Lagen überlappungsfrei gelegten Rund- oder Profildrähte durch anschließendes Pressen in die gewünschte Form weiter verdichtet werden. Ausgehend von einer in den Vertiefungen des Polkerns definiert verlegten ersten Spulenlage erzeugt eine präzise arbeitende Wickelmaschine eine reproduzierbare Spulenoberfläche und schafft damit die Voraussetzung für die nachfolgende Verdichtung und raumsparende Montage in der Maschine.

Ergänzend oder alternativ ermöglicht auch der zweite — im Anspruch 5 beschriebene — Lösungsansatz eine gute Raumaussnutzung in mehrphasigen Maschinen mit Einzelpolwicklung und führt gleichzeitig zu einer Verminderung der Verluste und der Herstellungskosten. Hierbei wird der vorzugsweise ringförmige weichmagnetische Körper aus zwei Segmentbauformen zusammengesetzt, die in Umfangsrichtung abwechselnd angeordnet sind.

Die Polteilung der ersten Segmentbauformen — im folgenden als T-Segment bezeichnet — entspricht in etwa der Polteilung des am Luftspalt gegenüberliegenden Körpers. Die Polteilung der zweiten Segmentbauform — im folgenden als X-Segment bezeichnet — ist dagegen um den der Phasenanzahl entsprechenden Bruchteil der Polteilung größer oder kleiner. Das X-Segment realisiert den Phasenversatz am Umfang aufeinanderfolgender T-Segmente und gewährleistet gleichzeitig eine magnetisch homogen wirkende Luftspaltoberfläche des weichmagnetischen Körpers. Während das T-Segment den Spulenkern bildet, füllt das X-Segment den Raum zwischen zwei benachbarten Leiterspulen aus und ist vorzugsweise derart gestaltet, daß den Widerstand erhöhende Hohlräume vermieden werden.

Die Spulen können als Drahtspulen vorzugsweise direkt auf das T-Segment aufgewickelt oder als mit Backlack verfestigte Profildrahtspulen auch in einer Vorrichtung vorgefertigt werden. Das T-Segment leitet den magnetischen Fluß hauptsächlich in Richtung der Nuttiefe und kann daher vorteilhaft aus kornorientiertem Material hergestellt werden. Dagegen übernimmt das X-Segment auch die Flußführung in Richtung der Nutbreite und besteht daher vorzugsweise aus verlustarmen Elektroblech ohne Vorzugsrichtung.

In den Zeichnungen sind vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung dargestellt.

Fig. 1 zeigt den Stanzschnitt eines Polsegments,

Fig. 2 zeigt die Draufsicht auf ein Stirnkopfelement,

Fig. 3 zeigt den Querschnitt eines bewickelten Polelementes vor dem Verpressen,

Fig. 4 zeigt den Querschnitt eines bewickelten Polelementes nach dem Verpressen,

Fig. 5 zeigt den Querschnitt eines 10-poligen, vierphasigen EC-Außenläufers,

Fig. 6 zeigt den Querschnitt eines 10-poligen, vierphasigen EC-Innenläufers,

Fig. 7 zeigt den Querschnitt eines 14-poligen, dreiphasigen EC-Außenläufers,

Fig. 8 zeigt Komponenten aus Fig. 7 bei der Montage. Der in Fig. 1 dargestellte Stanzschnitt eines Polsegments 1, weist die für den ersten Lösungsansatz der Erfindung typische Vertiefungen 2 in den Kanten zum Nutraum hin auf. Die Vertiefungen der tangential den Nutraum begrenzenden Oberfläche 3 dienen der Führung der Leiterdrähte 4. Das Profil ist derart ausgelegt, daß die erste Lage der Polwicklung eine optimale Ausgangslage zur Erzeugung einer trapezförmigen Spule 5 bildet.

Ergänzend zu dieser Führung der innersten Wicklungslage sind auf den Stirnseiten der Polsegmente 1 Stirnkopfelemente 6 aufgeklebt, die ebenfalls Vertiefungen 7 aufweisen, um den Leiterdraht 4 definiert zu führen. Die Stirnkopfelemente bestehen vorzugsweise aus Kunststoff und vermeiden zusätzlich eine Verletzung des Drahtes 4 an den Kanten des Polsegmentes 1.

In Fig. 2 eines der beiden zugehörigen Stirnkopfelemente 6 dargestellt, wobei unten die Drahtzuführung 8 erkennbar ist und die übrigen Vertiefungen 7 einen definierten Spurwechsel des Drahtes 4 erzwingen. Das gegenüberliegende Stirnkopfelement führt den Draht in der gleichen radialen Höhe um das Polende.

Mit Hilfe der das Polsegment 1 schraubenförmig umschließenden Vertiefungen 2, 7 kann die erste Lage der Einzelpolspule 5 sehr exakt und straff gewickelt werden. Die zweite Lage nutzt die Vertiefungen der ersten Lage, die dritte Lage die Vertiefungen der Zweiten usw. Hierbei können die Vertiefungen 2, 7 verschieden breit und tief ausgeführt sein, so daß die Drähte 4 in einer Lage unterschiedliche Abstände zueinander aufweisen. Insgesamt wird hierdurch eine sehr exakt trapezförmig gewickelte Spule 5 direkt auf dem Polsegment 1 erzeugt.

Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch das Polsegment 1 unmittelbar nach dem Bewickeln, wobei relativ dicker Runddraht 4 in einem streng vorgegebenen Muster verlegt ist.

Fig. 4 zeigt das bewickelte Polsegment 1 aus Fig. 3 nachdem die Spule 5 in einer Preßvorrichtung auf die gewünschten Außenabmessungen verdichtet wurde. Hierbei werden die Runddrähte 4 zum Teil erheblich verformt, um relativ glatte Oberflächen 9 zu erreichen. Da gekreuzt übereinanderliegende Leiter ausgeschlossen sind, verursacht diese Verformung keine unzulässige Beschädigung der Drahtisolierung. Zusätzlich zum exakten Verlegen des Drahtes wird durch das Verpressen eine weitere Steigerung des Nutfüllfaktors erreicht und dadurch die ohmsche Verlustleistung bei gleicher Baugröße reduziert. Vorzugsweise werden die Polsegmente aus kornorientiertem Elektroblech hergestellt, wobei die Vorzugsrichtung der Radialkomponente entspricht.

Die in einer vorzugsweise vollautomatischen Fertigung in den Arbeitsschritten

- Stanzpaketieren der Polsegmente
- Beschichten der Polsegmente mit Isolierlack
- Stirnkopfelemente aufkleben
- Bewickeln des Polsegments (Flyertechnik)
- Verpressen (mit oder ohne Bindemittel) und Funktionstest (ggf. noch Imprägnieren)

vorgefertigten Elektropole 10, werden abschließend in einer Vorrichtung zusammenmontiert.

Die entsprechend Fig. 1 bis 4 vorgefertigten Elektropole 10 sind Bauteile eines vierphasigen, 10-poligen EC-Außenläufermotors 11, dessen Querschnitt in Fig. 5 dargestellt wird. Die Polsegmente 1 nutzen den Raum bis

zur Achsmitte zur Führung des magnetischen Flusses. Nach der Montage werden dünne Haltestifte in die Aussparungen 12 an den Stoßstellen 13 der Polsegmente axial eingesteckt und gewährleisten so einen stabilen Zusammenhalt des segmentierten Stators 14. Das rotierende Gehäuse 15 dient gleichzeitig als magnetischer Rückschluß für die Permanentmagnete 16.

Alternativ können erfindungsgemäß vorgefertigte Polsegmente 17 auch radial außerhalb des Luftspaltes eingesetzt werden. Fig. 6 zeigt beispielhaft den Querschnitt eines vierphasigen 10-poligen EC-Innenläufers 18, wobei auf der Hohlwelle 19 aus Siliziumeisen ein radialvielpolig magnetisierter Permanentmagnetring 20 aufgeklebt ist. Für hohe Drehzahlen werden die Polsegmente 19 aus Hochfrequenzblech gestanzt und weisen eine Flußdichte nahe der Flußdichte im ringförmigen Magneten 20 (z. B. 1 T) auf. Nur die Löcher 21 für die Haltestifte im Jochbereich sind in der Querschnittszeichnung Bereiche, die nicht elektromagnetisch genutzt werden.

In Fig. 7 ist ein ringförmige dreiphasiger EC-Maschine 22 entsprechend dem zweiten Grundgedanken der Erfindung dargestellt. Den vierzehn baugleichen Permanentmagneten 23, die gleichmäßig verteilt in das Rotorjoch 24 eingeklebt sind, liegen am Luftspalt 25 zwölf Polsegmente — jeweils sechs T-Segmente 26 und 6 X-Segmente 27 — gegenüber. Die Polsegmente 26, 27 decken am Luftspalt 25 nahezu die gesamte Oberfläche ab. Die gestreift schraffierten T-Segmente 26 bestehen vorzugsweise aus Trafoblech und stecken in der vorgefertigten Profildrahtwicklung 29. Am Umfang gegenüberliegende T-Segmente gehören zur gleichen Phase, wodurch sich das Drehmoment symmetrische ausbildet. Die aus Dynamoblech gestanzten X-Segmente 27 sind gekreuzt schraffiert. Sie erzeugen durch ihre größere tangentielle Breite den Phasenversatz und sind an den Nutflächen 28 derart ausgestaltet, daß sie bei der Montage die Profildrahtspulen 29 in einer definierten Lage drücken und durch flächiges Anliegen einen guten Wärmeableitung sowie geringe Wicklungsgeräusche gewährleisten.

Nach dem Ineinanderstecken der Polsegmente 26, 27 und Profildrahtspulen 29 — wie in Fig. 8 dargestellt — wird der Statorring 30 auf ein mehrrecksiges Trägerrohr 31 gesteckt und mit einer dünnen Bandage 32 aus faserverstärktem Band versehen. Nach dem Imprägnieren ist der Stator dann ausreichend verfestigt und kann den magnetischen Kräften des Rotors ausgesetzt werden.

Alternativ zum dargestellten Ausführungsbeispiel können die X-Segmente auch nur Zweidrittel der Rotorpolteilung am Luftspalt abdecken, wodurch den 12 Statorpolen nur 10 Rotorpole gegenüberliegen. Die Erfindung ist auch für Innenläufer, Axialflußmaschinen und Linearmotoren sowie für Maschinen mit elektrischer Erregung oder nach dem Reluktanzprinzip anwendbar.

Patentansprüche

1. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung, und einem aus Polsegmenten (1, 17, 26, 27) zusammengesetzten weichmagnetischen Körper, dadurch gekennzeichnet, daß die den Nutraum begrenzenden Oberflächen (3) der Polsegmente (1, 19) Rillen aufweisen und in diesen Rillen (2) Leiterdrähte (4) angeordnet sind.
2. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß die Polsegmente (1, 17, 26) aus geschichteten, kornorientierten Blechen bestehen.

3. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an den Stirnseiten der Polsegmente (1, 17, 26) 5 Stürnkopfelemente (6) mit Rillen (7) angebracht sind und diese Vertiefungen den Draht (4) führen.

4. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 1, wobei die Polsegmente (1) radial innerhalb des Luftspaltes angeordnet sind, 10 dadurch gekennzeichnet, daß die Polsegmente (1) an ihren radial inneren Enden zusammenstoßen und dabei an den Stoßstellen (13) Kontaktflächen (12) aufweisen, in denen Haltestifte eingesteckt sind.

5. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung, und einem aus Polsegmenten zusammengesetzten weichmagnetischen Körper, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Polsegmenten (26, 27) mit unterschiedlicher Polschuhbreite ausgeführt sind, wobei die Polschuhbreite von einem dieser beiden Polsegmente (27) in etwa der Polteilung 20 des am Luftspalt gegenüberliegenden Körpers entspricht und die Polschuhbreite des benachbarten Polsegmentes (26) kleiner ist.

6. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, die Breite des Polschuhs jedes zweiten Polsegmentes (26) um den der Phasenanzahl entsprechenden Bruchteil der Polteilung des gegenüberliegenden Körpers kleiner ist, als die Breite des Polschuhs 25 des jeweils ersten Polsegmentes (27).

7. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß nur eines von zwei benachbarten Polsegmenten (26, 27) von einer Spule umschlossen wird. 30

8. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das von der Spule umschlossene Polsegment (26) aus kornorientierten Blechen besteht und am Luftspalt eine Fläche ausbildet, die der Fläche der Pole des gegenüberliegenden Körpers entspricht. 40

9. Elektrische Maschine mit einer Einzelpolwicklung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Polteilung des am Luftspalt gegenüberliegenden Körpers abweichenden Polsegmente (27) den Raum zwischen zwei benachbarten Spulen ausfüllen und einen Großteil des Joches bilden. 45

10. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Maschine mit einer Einzelpolwicklung und einem aus Polsegmenten (1) zusammengesetzten weichmagnetischen Körper, dadurch gekennzeichnet, daß die Polspule nach dem Aufwickeln des Leiterdrahtes in einer Vorrichtung in eine definierte Form gepreßt wird, wobei die anschließend im Nutraum liegenden Leiterdrähte verdichtet werden. 50

11. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Maschine mit einer Einzelpolwicklung und einem aus Polsegmenten (1) zusammengesetzten weichmagnetischen Körper, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht beim Wickeln der ersten Lage einer Polspule von Rillen (2) im Polkern geführt wird. 55

12. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Maschine mit einer Einzelpolwicklung und einem aus Polsegmenten (1) zusammengesetzten weichmagnetischen Körper, dadurch gekennzeichnet, daß bewickelte Polsegmente (26) mit unbewickelten Polsegmenten (27) zu einem kompakten ringförmigen Körper zusammengesteckt werden. 60

förmigen Körper zusammengesteckt werden.

13. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das unbewickelte Polsegment (27) beim Aufstecken die Spule (29) in eine definierte Form preßt.

14. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der ringförmige Körper durch ein dünnes faserverstärktes Band (32) vor dem Imprägnieren bandagiert wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

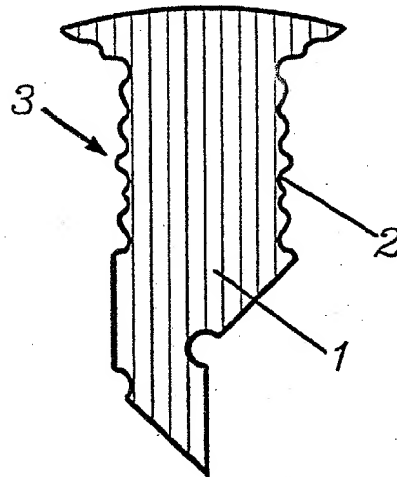


Fig. 2

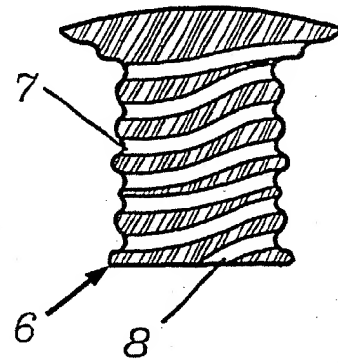


Fig. 3

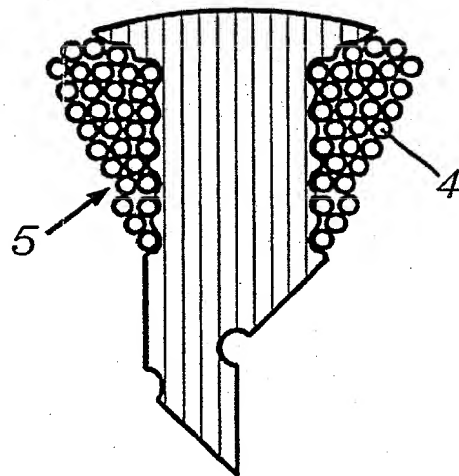


Fig. 4

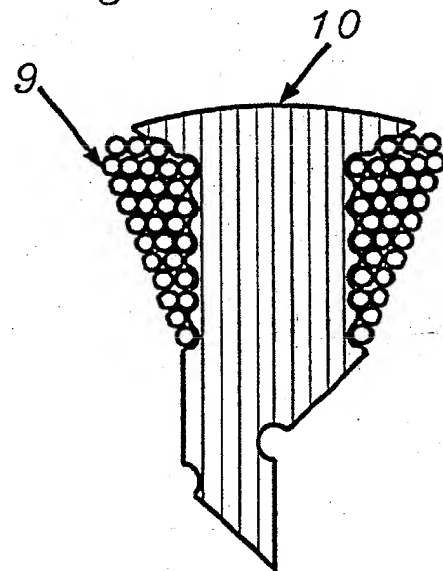


Fig. 5

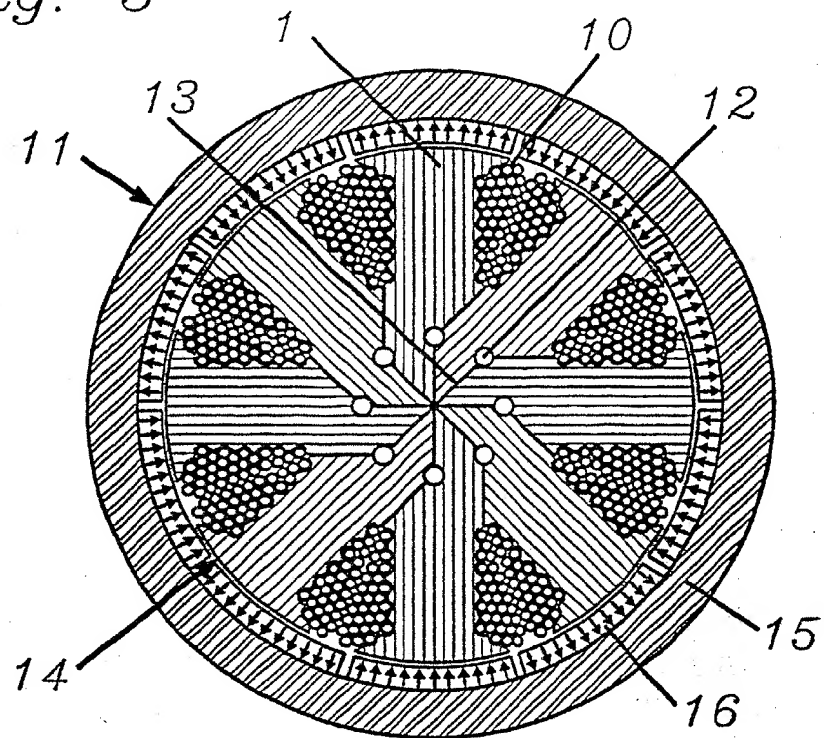


Fig. 6

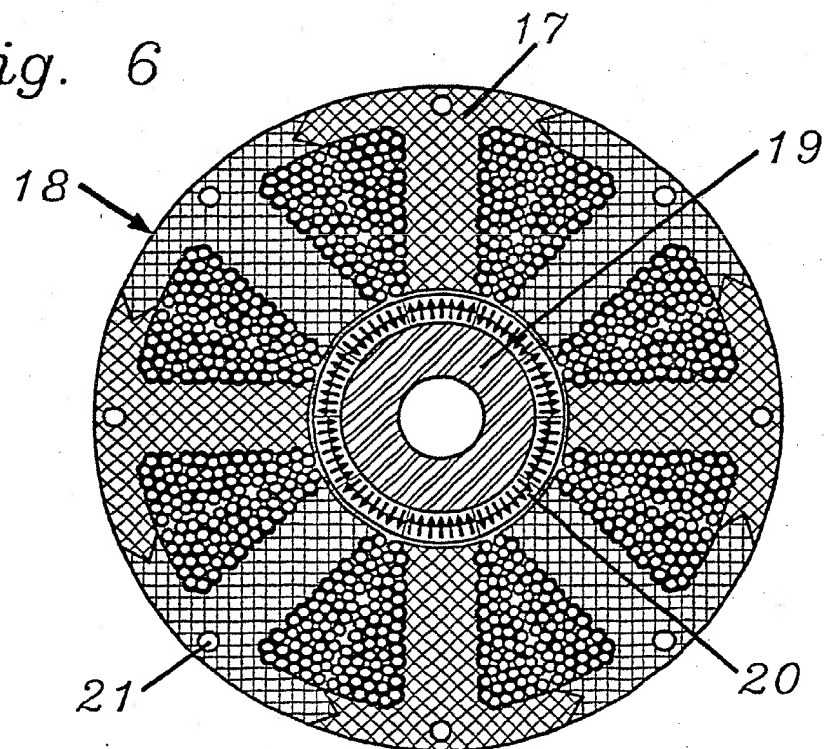


Fig. 7

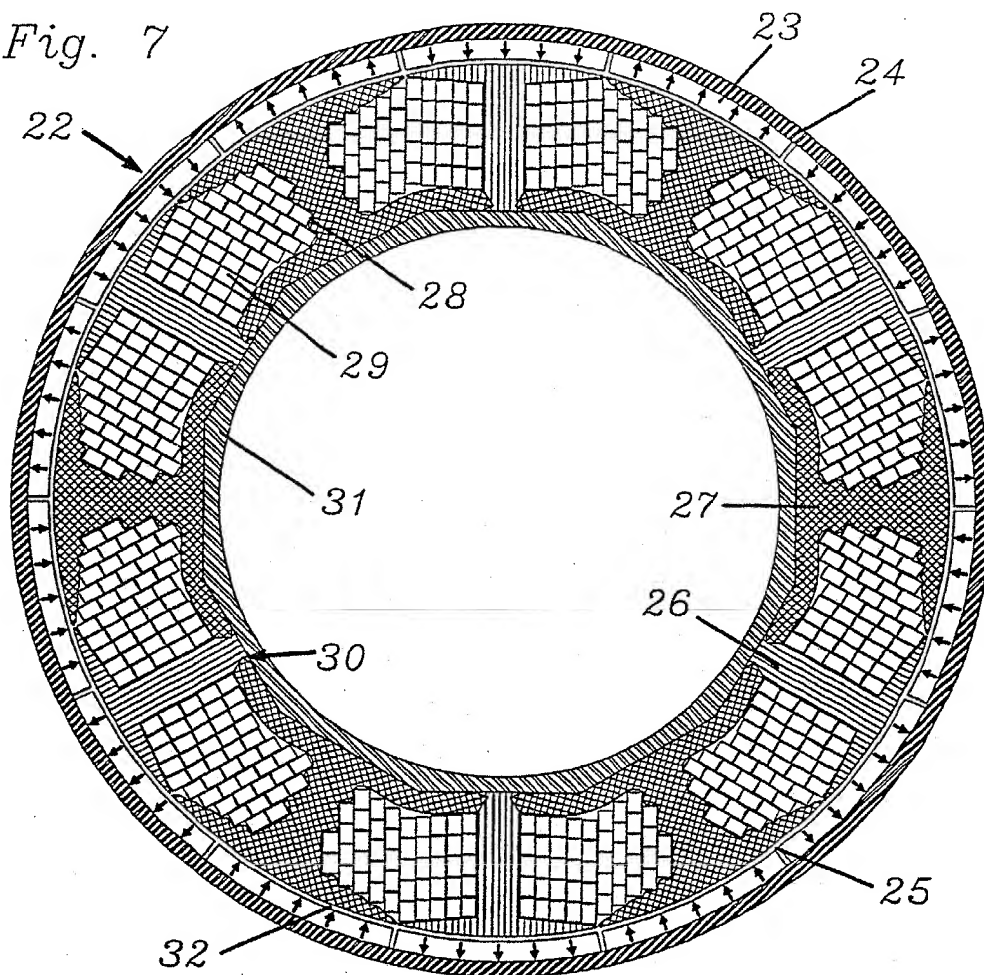


Fig. 8

